

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

⑫ 公開特許公報(A) 平4-122889

⑬ Int.Cl.⁵G 21 C 5/00
3/328
5/00

識別記号

GDB A

GDN B

庁内整理番号

7808-2G

7808-2G
7156-2G

⑭ 公開 平成4年(1992)4月23日

G 21 C 3/30 GDL W
審査請求 未請求 請求項の数 5 (全14頁)

⑮ 発明の名称 原子炉炉心およびその燃料集合体ならびに原子炉内における燃料装荷法

⑯ 特 願 平2-242641

⑰ 出 願 平2(1990)9月14日

⑱ 発 明 者 山 下 淳 一 茨城県日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

⑲ 発 明 者 持 田 貴 顕 茨城県日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

⑲ 発 明 者 曾 根 田 秀 夫 茨城県日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

⑳ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

㉑ 代 理 人 弁理士 秋本 正実

明 細 書

1. 発明の名称

原子炉炉心およびその燃料集合体ならびに原子炉内における燃料装荷法

2. 特許請求の範囲

1. 制御棒と複数の燃料集合体とにより構成される炉心格子を、複数の個配列した原子炉炉心において、前記炉心格子を、正方形の格子と、一辺が正方形の格子の長さと同じく、他辺が正方形の格子の長さよりも長い長方形の格子とにより構成し、炉心の内側には前記正方形の格子を配列し、炉心の外側には前記長方形の格子を配列したことを特徴とする原子炉炉心。

2. 請求項1記載の正方形の格子と長方形の格子とに配列される燃料集合体において、前記格子を複数の燃料集合体サブバンドルを配列して構成し、各燃料集合体サブバンドルをチャンネルボックスと、これの内部に配列された複数の燃料とにより成するとともに、前記燃料集合体サブバンドルを前記正方形の格子と長方

形の格子とにそれぞれ複数の個配列可能な形状に形成したことを特徴とする燃料集合体。

3. 請求項2記載の燃料集合体において、前記チャンネルボックス内に、燃料棒を3行N列(ただし、 $N \geq 3$)配列し、支持したことを特徴とする燃料集合体。

4. 請求項1記載の原子炉炉心に対する燃料装荷法において、前記炉心の外側に配列された長方形の格子に新燃料集合体サブバンドルを装荷し、数サイクル燃焼させたのち、前記炉心の内側に配列された正方形の格子に移し替えて燃焼させることを特徴とする原子炉炉心における燃料装荷法。

5. 請求項4記載の燃料装荷法において、前記長方形の格子および正方形の格子に、請求項2または3記載の燃料集合体を装荷することを特徴とする原子炉炉心における燃料装荷法。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、原子炉炉心およびその燃料集合体な

らびに原子炉内における燃料装荷法に係り、特に大幅な燃料高燃焼度化炉心において、水素対ウラン原子数比を最適に保ち、燃料の反応度を向上させ、燃料経済性を向上させるために好適な原子炉炉心およびその燃料集合体ならびに原子炉内における燃料装荷法に関する。

〔従来の技術〕

一般に使用されている軽水型原子炉の炉心構造として、沸騰水型原子炉の炉心構造を、第11図に示す。この第11図に示す原子炉炉心は、炉心全領域にわたって均一な炉心格子1を多数配列して構成されている。各炉心格子1は、燃料集合体2と、制御棒3とにより構成されている。

このような構造の原子炉炉心では、炉心内の冷却材と燃料中のウラン（核分裂性の U^{235} と非核分裂性の U^{238} を含む。さらにPu等の元素を含めるが、大半はウランであるため、ここではウランで代表する。）の重量または原子個数の比（一般に、水素対ウラン原子数比と呼ばれている）は、炉心内で均一と言え。厳密には、燃料棒1本1

本の周りを取り出せば不均一であるが、炉心内の中性子の平均飛程距離（炉心格子の格子間隔 ≈ 15 cmで、平均飛程距離 $\approx 10 \sim 20$ cm）が炉物理上の意味があり、この単位でみると水素対ウラン原子数比は炉心内で均一と言え。

このような炉心構造の原子炉で燃料を燃焼させた場合、水の量（水の密度）は燃焼を通じて一定となるが、燃料中の核分裂性核種 U^{235} 、 Pu^{239} 、 Pu^{241} は燃焼とともに変化する。したがって、水素対ウラン原子数比は一定でも水素対核分裂性核種比は燃焼とともに変化する。

第12図は水素対核分裂性核種比をパラメータとした、水素対核分裂性核種比と燃料の無限増倍率の関係を示す。この第12図に示すように、水素対核分裂性核種比に対して無限増倍率 K_{∞} は、ある水素対核分裂性核種比 n に対し、最大値 $K_{\infty \max}$ を持つ曲線を描くことがよく知られている。かかる無限増倍率 K_{∞} は、次式で表される。

$$K_{\infty} = \epsilon \eta f p$$

ここで、 ϵ ：高速中性子による核分裂寄与の補

正因子

η ：核分裂性核種の中性子吸収当たり発生する核分裂中性子数

f ：全中性子の吸収に対する核分裂性核種による中性子の吸収の割合

p ：中性子の減速中における共鳴吸収をのがれる割合

である。

一般に、水素対核分裂性核種比がある値、つまり最大となるときの値 n より小さくなると、水による中性子吸収は少なくなるので、 f の増加割合が大きくなるが、 p の減少割合が小さくなる傾向になり、 p の減少割合の方が勝って、無限増倍率 K_{∞} としては結局小さな値となる。また逆に、水素対核分裂性核種比がある値 n より大きくなると、 p の増加割合より f の減少割合の方が勝って、無限増倍率 K_{∞} としては結局小さくなることになる。したがって、水素対核分裂性核種比はある最適値を持つことになる。

前述したように、原子炉炉心内の燃料は、燃焼

とともに核分裂性核種の個数が変わるため、燃料としてみれば、水素対核分裂性核種比は燃焼とともに常に変化することになる。

従来の原子炉炉心では、このように水素対核分裂性核種比の燃焼に対する変化を考慮し、燃焼変化幅の平均的な水素対核分裂性核種比に対し、最適点がくるように、水の量ならびに水素対ウラン原子数比を設定している。以上のような従来の原子炉炉心では、燃焼度が増加し、核分裂性核種数の変化が大きい場合には、一定の水素対ウラン原子数比とすることは燃料の有効利用の観点からすれば最適になっていない。

この問題を解決すべく、従来特開昭60-79288号公報に記載の技術がある。この特開昭60-79288号公報は、燃料集合体6列ごとに燃料集合体間隔（水ギャップ）を広くした原子炉炉心格子を採用することにより、燃料集合体の炉内滞在年数（運転サイクル数）に応じて、水素対ウラン原子数比を次第に小さくする技術が示されている。第13図は前記特開昭60-79288号公報の第8図に掲

載の技術を示す。

この第13図において、4は第2の単位セル、5は燃料集合体、6は制御棒を示し、燃料集合体中の○内の数字中、①は1サイクル目燃料、②は2サイクル目燃料、③は3サイクル目燃料、④は4サイクル目燃料を示している。

そして、この第13図に示す従来技術では、水ギャップAは水ギャップBより広いため、6行6列の燃料集合体配列より構成される第2の単位セル4の中央側と外側では、水素対ウラン原子数比が異なっている。この第2の単位セル4内での燃料集合体の配置は、1サイクル目燃料に対して、炉内滞在サイクル数の大きな4サイクル目燃料は単位セルの内側に配置されている。これは、水素対ウラン原子数比を小さくするためである。このような炉心構造および燃料集合体の配置とすることにより、各燃料集合体は1～4サイクルというサイクル数を問わず、水素対ウラン原子数比を反応度の最大値に近づけることが可能となる。

一方、特開昭60-13284号公報には、従来一般

列領域は、4本1組の燃料集合体を囲む大正方形の格子8に形成されており、燃料集合体間の水ギャップが広くとられている。そして、大、小正方形の格子7、8間で燃料集合体を移動させることにより、水素対燃料体積比、または水素対ウラン原子数比を変更するようにしている。しかし、この従来技術では寸法の異なる正方形の格子が接する面では、第14図から分かるように、交点の形状が一部T字形となるため、このT字形となる部分9には十字形の制御棒を挿入できない。

〔発明が解決しようとする課題〕

前記第11図に示す従来技術では、燃料の燃焼変化幅の平均的な水素対核分裂性核種比に対して最適点ができるように、水の量を設定しているが、このような技術では燃料の有効利用の観点からすれば、最適になっていないという問題がある。

また、特開昭60-13284号公報に記載の従来技術では、炉心格子が一種類の格子で構成されているので、燃焼の各時点で水素対ウラン原子数比を無限増倍率が最適値になるように変更することが

に使用されている燃料集合体をさらに小さな燃料集合体サブバンドルに分割し、燃焼の途中で燃料配置を入れ替える技術が記載されている。しかし、この従来技術では炉心格子の形状、大きさが一種類の格子で構成されている。

他方、特開昭62-76489号公報には、寸法の異なる二種類の正方形の格子で炉心格子を構成した原子炉炉心が開示されている。

第14図は前掲特開昭62-76489号公報に記載の原子炉炉心を示す図、第15図(A)、(B)は同原子炉炉心を構成している二種類の正方形の格子の形状を示す拡大図である。

これら第14図および第15図(A)、(B)に示す従来技術では、燃料集合体を炉心内に支持する目的で炉心の頂部付近に設けられた炉心格子支持板を、燃料集合体の稠密配列領域と粗配列領域とを有する構造としている。前記稠密配列領域は、4本1組の燃料集合体を囲む小正方形の格子7に形成されており、燃料集合体間に形成される冷却水のための水ギャップが極力狭くなっている。前記粗配

できないという問題がある。

そして、特開昭60-79288号公報に記載され、かつ第13図に示す従来技術では、燃料の分散装荷を前提にしているため、第2の単位セルを構成する燃料集合体の数が36体となり、第2の単位セルピッチは約90cmとなる。したがって、特開昭60-79288号公報にも例示されているように、1100MW級の沸騰水型原子炉では、炉心に装荷される燃料集合体または第1の単位セルは764体であり、この764体の燃料集合体を6行6列の36体に分けて20個の第2の単位セルを作る仕様に最適であると言える。しかし、前記1100MW級の原子炉よりも大きく、燃料集合体の数が多い原子炉、または前記1100MW級の原子炉よりも小さく、燃料集合体の数が少ない原子炉では、第2の単位セルを整数個、程よく配置することは、必ずしも容易ではない。

さらに、特開昭60-79288号公報に記載の従来技術では、今後の燃料の高燃焼度化の傾向を考慮するならば、炉心内での燃料間の燃焼度のバラツ

キ幅が大きくなり、炉内滞在期間に応じて水素対ウラン原子数比が無限増倍率の最適点から大きくずれる可能性がある。特に、燃焼度を70 Gwd/t以上的大幅な高燃焼度を目標とする場合には、水素対ウラン原子数比的大幅な変化に対する対応が必要となる。ところが、この従来技術のように、燃料集合体のチャンネルボックスの内部、つまり燃料集合体自体を変更することなしに、水ギャップ幅のみを変更するだけでは、燃料集合体内の燃料・水分布の不均質性が増加し、結果的には反応度の最適化が得られにくくなる。

また、燃料集合体の4側面すべてに十字形の制御棒が挿入される型の原子炉炉心では、炉心格子間の十字形の交点に制御棒を挿入することが必要となる。これに対して、特開昭62-76489号公報に記載され、かつ第14図および第15図(A)、(B)に示す従来技術では、寸法の異なる正方形の接する境界面の形状が一部T字形となる。このため、十字形の制御棒を挿入することができない場所が生じる不都合がある。これは、反応度制御および

出力分布制御の点で問題となる。

本発明の第1の目的は、燃料の大幅な高燃焼度化により、水素対ウラン原子数比が例えば7~8から5~6へ大幅に変化するような原子炉であっても、水素対ウラン原子数比を反応度が最大値となるように変更でき、しかも炉心格子を規則正しく組むことができ、反応度制御および出力分布制御を的確に行い得る原子炉炉心を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、炉心格子の形状に応じて燃料集合体サブバンドルの配置を変えるだけで、比較的均質に水素対ウラン原子数比を変更させることができ、燃料の反応度を向上させ得る燃料集合体を提供することにある。

そして、本発明の第3の目的は、燃料の大幅な高燃焼度化に伴う大幅な水素対ウラン原子数比の変化に対しても、燃焼の前半と後半とでそれぞれ最適な水素対ウラン原子数比を選択でき、燃料の反応度をより一層向上させ得る原子炉炉心における燃料装荷法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

前記第1の目的は、炉心格子を、正方形の格子と、一辺が正方形の格子の長さと同しく、他辺が正方形の格子の長さよりも長い長方形の格子とにより構成し、炉心の内側には前記正方形の格子を配列し、炉心の外側には前記長方形の格子を配列したことにより、達成される。

また、前記第2の目的は、前記正方形の格子と長方形の格子とに配列される燃料集合体において、従来使われている燃料集合体の代わりに、これをさらに複数個に分割した燃料集合体サブバンドルを複数個配列して構成し、各燃料集合体サブバンドルをチャンネルボックスと、これの内部に配列された複数本の燃料棒とにより構成するとともに、前記燃料集合体サブバンドルを前記正方形の格子と長方形の格子とにそれぞれ複数個配列可能な形状に形成したことにより、達成される。

さらに、前記第2の目的は、前記チャンネルボックス内に、燃料を3行N列(ただし、 $N \geq 3$)配列し、支持したことによって、より良く達成さ

れる。

そして、前記第3の目的は、前記炉心の外側に配列された長方形の格子に新燃料集合体サブバンドルを装荷し、数サイクル燃焼させたのち、前記炉心の内側に配列された正方形の格子に移し替えて燃焼させることにより、達成される。

さらにまた、前記第3の目的は、前記長方形の格子および正方形の格子を、複数個の燃料集合体サブバンドルを配列して構成し、各燃料集合体サブバンドルをチャンネルボックスと、これの内部に配列された複数本の燃料棒とにより構成するとともに、前記燃料集合体サブバンドルを前記正方形の格子と長方形の格子とにそれぞれ複数個配列可能な形状に形成して装荷することにより、またチャンネルボックス内に、燃料棒を3行N列(ただし、 $N \geq 3$)配列して装荷することによって、より良く達成される。

【作用】

本発明の請求項1記載の発明では、炉心格子を正方形の格子と、これより断面積が広い長方形の

格子とにより構成し、炉心の内側には前記正方形の格子を配列し、炉心の外側には前記長方形の格子を配列して構成している。その結果、燃焼の前半には新燃料集合体サブバンドルを、断面積が広くかつ炉心の外側に配列された長方形の格子内に配置し、高濃縮度の場合に対応した水素対ウラン原子数比である例えば7~8とし、その燃焼時点での最大の反応度が得られるようにすることができる。また、燃焼の後半には数サイクル燃焼後の燃料集合体サブバンドルを、断面積が狭くかつ炉心の内側に配列された正方形の格子内に移し、低濃縮度の場合に対応した水素対ウラン原子数比である例えば5~6とすることにより、その燃焼時点での最大の反応度が得られるようにすることができる。これにより、燃料の大幅な高燃焼度化を図るうえで顕著となる水素対ウラン原子数比の大幅な変化に対応させて燃焼の各時点での反応度が最大値になるように変更できる結果、燃料の経済性を高めることができる。

また、請求項1記載の発明では、炉心格子を正

方形の格子と長方形の格子とにより構成するとともに、長方形の格子の一边を正方形の格子の長さと同じくし、他辺を正方形の格子の長さより長くしている。その結果、正方形の格子と長方形の格子間の境界面が十字形になるように、規則正しく配列することができる。これにより、正方形の格子と長方形の格子とが接する境界面にも十字形の制御棒を確実に挿入することができ、その制御棒により反応度制御および出力分布制御を的確に行うことが可能となる。

さらに、本発明の請求項2記載の発明では、前記正方形の格子と長方形の格子を、複数個の燃料集合体サブバンドルで構成している。また、各燃料集合体サブバンドルをチャンネルボックスと、これの内部に配列された複数本の燃料棒とにより構成している。そして、前記燃料集合体サブバンドルを正方形の格子と長方形の格子とにそれぞれ複数個配列可能な形状に形成している。その結果、燃焼の前半と後半とで水素対ウラン原子数比を大幅に変える際に、長方形の格子から正方形の格子

へ、複数個の燃料集合体サブバンドルで構成された燃料集合体グループを容易に配置替えすることができし、燃料集合体自体の構造を変えることなく、燃料集合体グループを配置替えするだけで燃料集合体サブバンドル間のピッチを変えることによって水ギャップ幅を変えることができる。これにより、比較的均質に燃料集合体全体の水素対ウラン原子数比を変更することができ、燃料の反応度を向上させることができる。

また、本発明の請求項3記載の発明では、前記チャンネルボックス内に、燃料棒を3行N列（ただし、 $N \geq 3$ ）配列し、支持している。これにより、新たにウオータロッド等を用いることなく、各燃料集合体サブバンドル内の水と燃料の分布の均質化、最適化を図ることができる。

そして、本発明の請求項4記載の発明では、炉心の外側に配列された断面積の広い長方形の格子に新燃料集合体サブバンドルを装荷し、燃焼させる。ついで、数サイクル燃焼させたのち、炉心の内側に配列された比較的断面積の狭い正方形の格

子に移し替えて燃焼させる。これにより、燃焼の前半では高濃縮度の燃料によって水素対ウラン原子数比を大きくとり、燃料の反応度をその燃焼時点での最大値である例えば7~8とし、燃焼の後半では低濃縮度の燃料によって水素対ウラン原子数比を小さくすることにより、燃料の反応度をその燃焼時点での最大値である例えば5~6とすることができる。その結果、燃料の大幅な高燃焼度化に伴う大幅な水素対ウラン原子数比の変化にも的確に対応でき、かつ燃料の経済性を大幅に改善することができる。

さらに、本発明の請求項5記載の発明では、前記長方形の格子および正方形の格子を、複数個の燃料集合体サブバンドルを配列して構成し、各燃料集合体サブバンドルをチャンネルボックスと、これの内部に配列された複数本の燃料棒とにより構成するとともに、前記燃料集合体サブバンドルを前記正方形の格子と長方形の格子とにそれぞれ複数個配列可能な形状に形成して装荷することにより、またチャンネルボックス内に、燃料棒を3

行 N 列 (ただし、 $N \geq 3$) 配列し、支持した燃料集合体サブバンドルを装荷することによって、燃料の大幅な高燃焼度化に伴う大幅な水素対ウラン原子数比の変更に際しても、より一層的確に対応することができる。

【実施例】

以下、本発明の実施例を図面により説明する。

第 1 図は本発明原子炉炉心の一実施例を示す平面図、第 2 図は同原子炉炉心の炉心格子を示す一部拡大平面図、第 3 図 (A)、(B) は同炉心格子を構成している正方形の格子と長方形の格子の寸法関係の説明図である。

これらの図に示す実施例の原子炉炉心は、制御棒挿入用のスペースにより概念的に区画された複數個の炉心格子により構成されている。前記炉心格子は、複數個の正方形の格子 10 と、好ましくは正方形の格子 10 と同数の長方形の格子 11 とを配列して構成されている。

前記正方形の格子 10 と長方形の格子 11 とは、第 3 図 (A)、(B) に示すように、正方形の格子 10 の

り、長方形の格子 11 は第 1 図に斜線を施して示すように、炉心の外側に配列されている。このように、正方形の格子 10 を炉心の内側に配列し、長方形の格子 11 を炉心の外側に配列する構成は、円形状の原子炉炉心に正方形の格子 10 と長方形の格子 11 の二種類の格子を規則正しく配列するうえで、設計上有利であるばかりでなく、反応度の高い新燃料を常に炉心の外側に置き、燃焼した反応度の低い燃料を常に炉心の内側 (中央部) に置いたうえで、炉心内の半径方向の出力分布を平坦化し、炉心内の半径方向の出力ピーキングを低く抑えることができる。

次に、第 4 図は正方形の格子の構成を示す拡大平面図、第 5 図は長方形の格子の構成を示す拡大平面図、第 6 図は正方形の格子および長方形の格子を構成している燃料集合体サブバンドルの一部破断斜視図である。

前記正方形の格子 10 および長方形の格子 11 は、第 3 図および第 4 図に示すごとく、二つの対角点に配置された制御棒 12 により囲まれた空間内に、

長さを l とするとき、長方形の格子 11 の一边は長さ l に形成され、長方形の格子 11 の他辺は正方形の格子 10 の長さ l よりも長い $l + \alpha$ の長さに形成されている。また、長方形の格子 11 における正方形の格子 10 の辺より長い辺は、この格子 11 内で目標とする水素対ウラン原子数比が得られるように、核特性の観点から決定される。さらに、長方形の格子 11 の一边を正方形の格子 10 の長さと同じ長さ l とし、他辺を正方形の格子 10 の長さより長い $l + \alpha$ に設定したことは、正方形の格子 10 と長方形の格子 11 の二種類の格子を規則正しく組み合わせて炉心を構成するうえで有利であるばかりでなく、正方形の格子 10 と長方形の格子 11 間の境界面に、十字形の制御棒挿入用のスペースを確保することができる。

前記正方形の格子 10 および長方形の格子 11 とも、第 2 図に示すように、燃料集合体サブバンドル 13 と、燃料集合体サブバンドル 13 間のスペースに挿入された制御棒 12 とにより構成されている。そして、正方形の格子 10 は炉心の内側に配列されてお

それぞれ 4 行 2 列、合計 8 体の燃料集合体サブバンドル 13 を配列して構成されている。前記正方形の格子 10 では、燃料集合体サブバンドル 13 間に、第 4 図に示すように、狭い幅の水ギャップ 20 が確保されている。前記長方形の格子 11 では、燃料集合体サブバンドル 13 間に、第 5 図に示すように、広い幅の水ギャップ 21 が確保されている。これら水ギャップ 20、21 の幅は、当該格子の大きさと、燃料集合体サブバンドル 13 の形状とにより、その格子内で目標とする水素対ウラン原子数比が得られるように決定する。具体的な一例として、燃料集合体サブバンドル 13 の平面から見た大きさを $5\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ の長方形とし、正方形の格子 10 内での水ギャップ 20 の幅を 1 cm とすると、正方形の格子 10 での水素対ウラン原子数比を約 5 とすることができ、長方形の格子 11 内での水ギャップ 21 の幅を 3 cm とすると、長方形の格子 11 での水素対ウラン原子数比を約 8 とすることが可能となる。これにより、ウオータロッド数を変更する等の燃料集合体の構造を変更することなく、長方形の格子 11 と正

方形の格子10間に燃料集合体サブバンドル13を移し、水ギャップ20、21の幅を替えて並び替えるだけで、最適の水素対ウラン原子数比を得ることが可能となる。

前記炉心の格子を、それぞれほぼ同じ数の正方形の格子10と長方形の格子11の2種類により構成し、その中に配置される燃料集合体を複数体の燃料集合体サブバンドル13で構成し、この燃料集合体サブバンドル13を炉心の外側に配列された長方形の格子11内で数サイクル燃焼させたのち、炉心の内側に配列された正方形の格子10内に配置替えする際、長方形の格子11から正方形の格子10へそのまま同じ数の燃料集合体サブバンドル13を納めることが可能となる。

前記各燃料集合体サブバンドル13は、第4図および第5図に示すように、チャンネルボックス15内に、核分裂性物質を含む燃料棒16を3行N列（ただし、 $N \geq 3$ ）、この実施例では $N=7$ 、つまり21本の燃料棒16を配列し、支持して構成されている。燃料棒16の配列を3行N列とした理由は、

燃料集合体グループ”と名付ける。第7図に示すように、新燃料である新燃料集合体グループ22を、燃焼の前半では炉心の外側に配列された断面積の広い長方形の格子11内に配置し、燃焼させる。ついで、数サイクル燃焼させたのち、燃焼の後半は前記数サイクル燃焼後の燃料集合体グループ23を、炉心の内側に配列された断面積の比較的狭い正方形の格子10内に移し替えて燃焼させる。この正方形の格子10内で数サイクル燃焼させたのち、その燃料集合体グループを原子炉炉心より取り出す。この取り出し燃料集合体グループを、第7図に符号24で示す。

前述のごとく、燃焼の前半で、高濃縮度の新燃料集合体グループ22を断面積の広い長方形の格子11内に配置することにより、新燃料集合体グループ22を構成している燃料集合体サブバンドル間の水ギャップの幅を広くとることができる（第5図参照）。その結果、第8図に示す水素対ウラン原子数比を大きく、例えば8に取り、この燃焼時点での反応度を最大値にすることが可能となる。

燃料集合体サブバンドル13内の水と燃料の分布を均質にし、最適化を図るためである。これを例えば4行とすると、新たにウオータロッド等を用いて、燃料集合体サブバンドル13内の水と燃料の分布を均質化する必要がある。前記12本の燃料棒16は、互いに水ギャップを有して配列されている。また、前記燃料棒16は第6図に示すように、上端部と下端部とは上部タイプレート17と下部タイプレート18により固定され、中間部はスパーサ19により支持されている。

ついで、第7図は本発明燃料装荷法の一実施例の説明図、第8図は燃料の濃縮度に対応する反応度と水素対ウラン原子数比との関係を示す図である。

本発明における燃料装荷法では、同一の炉心格子内に配置された複数個の燃料集合体サブバンドルは、複数個まとめたグループとして燃料配置移動の際に、従来の燃料集合体のように炉心格子間を移動するため、同一の炉心格子内に配置された複数個の燃料集合体サブバンドルをここでは“燃

また、燃焼の後半では数サイクル燃焼後の燃料集合体グループ23を断面積の比較的狭い正方形の格子10に移し替えることにより、燃料集合体グループ23を構成している燃料集合体サブバンドル間の水ギャップの幅が狭くなる（第4図参照）。その結果、燃料の低濃縮度に対応して、第8図に示す水素対ウラン原子数比を小さく、例えば5に取り、この燃焼時点での反応度を最大値にすることができる。

ところで、燃焼度70~100 Gwd/tを目標とした軽水炉用のウラン燃料は、燃料濃縮度が6%以上と高く、第8図に示すように、燃焼の前半では反応度が最大となる水素対ウラン原子数比は7~8であるのに対し、燃焼の後半では水素対ウラン原子数比5~6で反応度が最大となる。したがって、燃焼の各時点に応じて反応度が最大となるようにするには、水素対ウラン原子数比を7~8から5~6へと大幅に変更する必要がある。

沸騰水型原子炉では、冷却材と減速材を兼ねる軽水の流路はチャンネルにより仕切られ、チャン

ネルの内部の沸騰領域と、外部の非沸騰領域に分けられるが、水素対ウラン原子数比をこのように大幅に変える際には、チャンネルの外部のみならず、チャンネルの内部についても変えて、燃料と水の分布を均質に保つ必要がある。この方法として二つの方法が考えられる。

その第1の方法は、チャンネルの外部の水ギャップ部のみならず、チャンネルの内部にウオータロッドを設け、その数を変更することにより、燃料と水の分布を均質に保ち、水素対ウラン原子数比を変える方法である。この方法の場合、ウオータロッドの数を増減して水素対ウラン原子数比を変更する際に、燃料集合体内の燃料棒の一部を除去する等の煩雑な操作が必要となる。

第2の方法は、燃料集合体を従来のものより小さな燃料集合体サブバンドルで構成し、この燃料集合体サブバンドル間の水ギャップの幅を変えることにより、均質に近い形で燃料集合体全体の水素対ウラン原子数比を変更する方法である。この方法は、原子炉内における燃料集合体の配置をあ

らかじめ規定したうえで、原子炉内での燃料集合体を支持する炉心下部格子板および炉心上部格子板の構造を変更して不等間隔とし、燃料集合体の炉心内の位置により、燃料集合体サブバンドル間の水ギャップの幅が異なる構造とすることにより、達成される。

この第2の方法では、第1の方法のように燃料集合体自体を照射期間中に燃料再組立等により変更する必要はなく、燃料集合体は炉心格子ピッチが大きな領域から小さな領域へと移動させるだけである。理想的には燃料集合体サブバンドル間の水ギャップの幅を、燃料の炉内滞在サイクルごとにそれぞれ変えることが望ましいが、実用上の観点からは、燃焼の前半と後半とで二分することで十分である。この場合、炉心格子ピッチは二種類となるが、軽水炉炉心のように格子状配列の場合、第15図(A)、(B)に示すように、X方向、Y方向の双方同時に変更すると、第14図に示すように炉心全体として規則正しく格子を組むことが難しくなる。

これに対し、本発明の第3図(A)、(B)に示す実施例のように、X方向またはY方向のいずれか一方を変更して炉心格子セルの大きさを変更する場合には、第1図に示すように、正方形の格子10と、これと一辺の長さが等しい長方形の格子11により従来と同じように格子形状の炉心を構成することができる。

また、燃料装荷法については、炉心内の格子の大きさが炉心の内側と外側とで異なるため、この異なる大きさの格子内で燃料を燃焼させ、かつ大幅な高燃焼度化に伴う大幅な水素対ウラン原子数比の変化に対応させ、しかも燃料の反応度を最大値に近づけるためには、比較的新しい燃料を炉心の外側の広い断面積の長方形の格子11の中に装荷し、2、3サイクル燃焼させたのちに、炉心の内側の狭い断面積の正方形の格子10と移動させて燃焼させることにより、達成することができる。

さらに、本発明の原子炉炉心では、正方形の格子10と長方形の格子11とを組み合わせる用いて、長方形の格子11の一辺の長さを自由に設

定できる自由度と合わせて、互いに大きさの違う正方形の格子10と長方形の格子11の数を比較的自由に選択することができるので、燃料集合体の数の異なる種々の原子炉炉心に容易に適用することができる。

続いて、第9図および第10図はそれぞれ本発明燃料集合体を構成している燃料集合体サブバンドルの他の実施例を示す横断面図である。

第2図および第3図に示した燃料集合体サブバンドル13は3行7列の燃料配列であったが、水ギャップの幅はXYの一方方向についてのみ変更すればよいので、第2図および第3図に示す燃料集合体サブバンドル13の2体を合わせて1本としてもよい。

第9図に示す燃料集合体サブバンドル25は、第2図および第3図に示す燃料集合体サブバンドル13を2体合わせた長さのチャンネルボックス26内に、燃料棒16が3行14列、配列されており、チャンネルボックス26の長さ方向の中間部、つまり燃料棒16の7列目と8列目の間に水路用隔壁27で仕

切られた長方形の水路28が設けられている。

前記水路隔壁27は、中性子照射におけるチャンネルボックス26の曲がり等の変形を小さくする役目を果たす。

また、第10図に示す燃料集合体サブバンドル30は、第2図および第3図に示す燃料集合体サブバンドル13を2本合わせた長さのチャンネルボックス31内に、燃料棒16が3行14列、配列されており、チャンネルボックス31の長さ方向の中間部、つまり7列目と8列目の間に、1列3本のウオータロッド32が配置されている。

前記ウオータロッド32は、燃料集合体サブバンドル30内の水と燃料の分布を均質化する役目を果たす。

前記第9図および第10図に示す燃料集合体サブバンドル25、30は、構成部品が増加するものの、燃料集合体サブバンドルの炉内配置を変える際の燃料集合体の移動回数を減らすことができる利点がある。

〔発明の効果〕

また、本発明の請求項1記載の発明によれば、炉心格子を正方形の格子と長方形の格子とにより構成するとともに、長方形の格子の一边を正方形の格子の長さと同じくし、他辺を正方形の格子の長さより長くしている結果、正方形の格子と長方形の格子間の境界面が十字形になるように、規則正しく配列することができる。これにより、正方形の格子と長方形の格子とが接する境界面にも十字形の制御棒を確実に挿入することができ、その制御棒により反応度制御および出力分布制御を的確に行い得る効果もある。

さらに、本発明の請求項2記載の発明によれば、前記正方形の格子と長方形の格子を、複数の燃料集合体サブバンドルで構成し、各燃料集合体サブバンドルをチャンネルボックスと、これの内部に配列された複数の燃料とにより構成し、前記燃料集合体サブバンドルを正方形の格子と長方形の格子とにそれぞれ複数個配列可能な形状に形成しているので、燃焼の前半と後半とで水素対ウラン原子数比を大幅に変える際に、長方形の格子

以上説明した本発明の請求項1記載の発明によれば、炉心格子を正方形の格子と、これより断面積が広い長方形の格子とにより構成し、炉心の内側には前記正方形の格子を配列し、炉心の外側には前記長方形の格子を配列して構成しており、燃焼の前半には新燃料集合体を、断面積が広くかつ炉心の外側に配列された長方形の格子内に配置し、高濃縮度の場合に対応した水素対ウラン原子数比である例えば7～8とし、その燃焼時点での最大の反応度が得られるようにすることができるし、燃焼の後半には数サイクル燃焼後の燃料集合体を、断面積が狭くかつ炉心の内側に配列された正方形の格子内に移し、低濃縮度の場合に対応した水素対ウラン原子数比である例えば5～6とすることにより、その燃焼時点での最大の反応度が得られるようにすることができる。これにより、燃料の大幅な高燃焼度化を図るうえで顕著となる水素対ウラン原子数比の大幅な変化に対応させて燃焼の各時点での反応度が最大値になるように変更できる結果、燃料の経済性を高め得る効果がある。

から正方形の格子へ複数個の燃料集合体サブバンドルで構成された燃料集合体グループを容易に配置替えすることができるし、燃料集合体自体の構造を変えることなく、燃料集合体を配置替えするだけで燃料集合体サブバンドル間のピッチを変えることによって水ギャップ幅を変えることができる。これにより、比較的均質に燃料集合体グループ全体の水素対ウラン原子数比を変更することができるし、燃料の反応度を向上させ得る効果がある。

また、本発明の請求項3記載の発明によれば、前記チャンネルボックス内に、燃料棒を3行N列（ただし、 $N \geq 3$ ）配列し、支持したことにより、新たにウオータロッド等を用いることなく、各燃料集合体サブバンドル内の水と燃料の分布の均質化、最適化を図り得る効果がある。

そして、本発明の請求項4記載の発明によれば、炉心の外側に配列された断面積の広い長方形の格子に新燃料集合体サブバンドルを装荷し、燃焼させ、ついで数サイクル燃焼させたのち、炉心の内

側に配列された比較的断面積の狭い正方形の格子に移し替えて燃焼させるようにしているので、燃焼の前半では高濃縮度の燃料によって水素対ウラン原子数比を大きくとり、燃料の反応度をその燃焼時点での最大値である例えば7~8とし、燃焼の後半では低濃縮度の燃料によって水素対ウラン原子数比を小さくすることにより、燃料の反応度をその燃焼時点での最大値である例えば5~6とすることができる結果、燃料の大幅な高燃焼度化に伴う大幅な水素対ウラン原子数比の変更にも的確に対応でき、かつ燃料の経済性を大幅に改善し得る効果がある。

さらに、本発明の請求項5記載の発明によれば、前記長方形の格子および正方形の格子を、複數個の燃料集合体サブバンドルを配列して構成し、各燃料集合体サブバンドルをチャンネルボックスと、これの内部に配列された複數本の燃料棒とにより構成するとともに、前記燃料集合体サブバンドルを前記正方形の格子と長方形の格子とにそれぞれ複數個配列可能な形状に形成して装荷することに

より、またチャンネルボックス内に、燃料棒を3行N列（ただし、 $N \geq 3$ ）配列し、支持した燃料集合体サブバンドルを装荷するようにしたことにより、燃料の大幅な高燃焼度化に伴う大幅な水素対ウラン原子数比の変更に際しても、より一層的確に対応し得る効果がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明原子炉炉心の一実施例を示す平面図、第2図は同原子炉炉心の炉心格子を示す一部拡大平面図、第3図(A)、(B)は同炉心格子を構成している正方形の格子と長方形の格子の寸法関係の説明図、第4図は正方形の格子の構成を示す拡大平面図、第5図は長方形の格子の構成を示す拡大平面図、第6図は正方形の格子および長方形の格子を構成している燃料集合体サブバンドルの一部破断斜視図、第7図は本発明燃料装荷法の一実施例の説明図、第8図は燃料の濃縮度に対応する反応度と水素対ウラン原子数比との関係を示す図、第9図および第10図はそれぞれ本発明燃料集合体を構成している燃料集合体サブバンドルの

他の実施例を示す横断面図である。

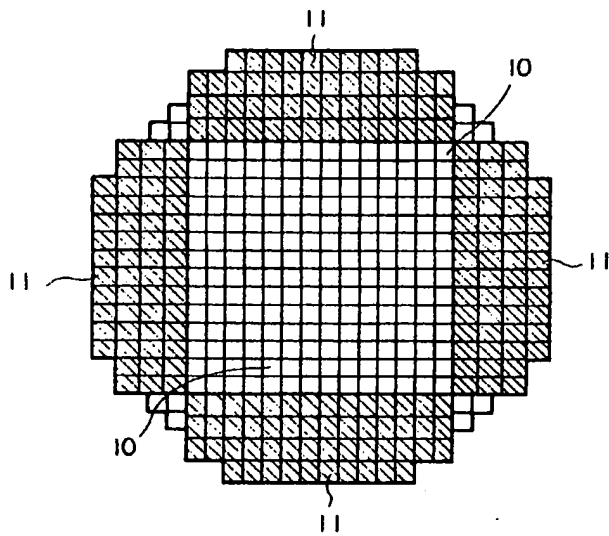
第11図は一般に使用されている従来技術の原子炉炉心の炉心格子を示す平面図、第12図は核燃料を燃焼させたときの水対核分裂性核種比と反応度との関係を示す図、第13図は炉心格子の形状、大きさが同一種類の正方形の格子で構成された原子炉炉心の従来技術を示す平面図、第14図は大小異なる二種類の正方形の格子で構成された原子炉炉心の従来技術を示す平面図、第15図(A)、(B)は同二種類の正方形の格子の寸法関係を示す図である。

10…正方形の格子、11…長方形の格子、12…制御棒、13…燃料集合体サブバンドル、15…チャンネルボックス、16…燃料棒、20…正方形の格子内に納められた燃料集合体サブバンドル間の狭い水ギャップ、21…長方形の格子内に燃料集合体サブバンドル間の広い水ギャップ、22…新燃料集合体グループ、23…数サイクル燃焼後の燃料集合体グループ、24…取り出し燃料集合体グループ、25…燃料集合体サブバンドル、26…チャンネルボック

ス、28…水路、30…燃料集合体サブバンドル、31…チャンネルボックス、32…ウオータロッド。

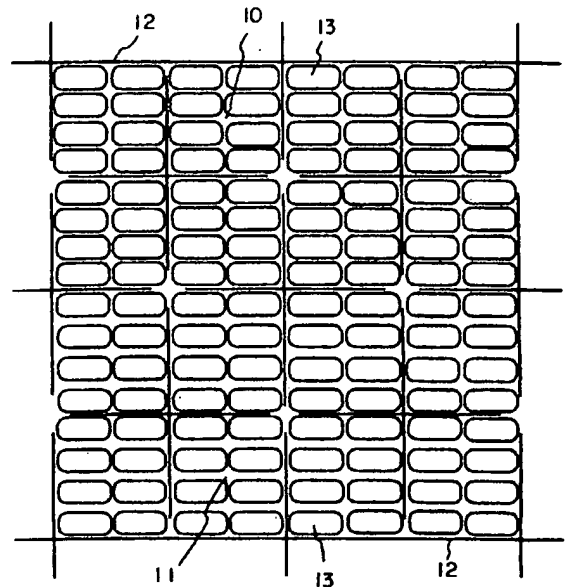
代理人 弁理士 秋 本 正 実

第 1 図



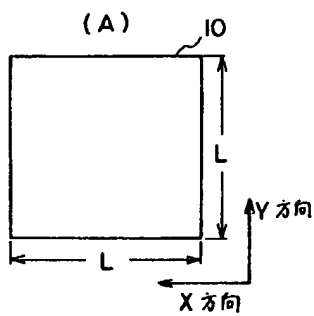
10…正方形の格子
11…長方形の格子

第 2 図

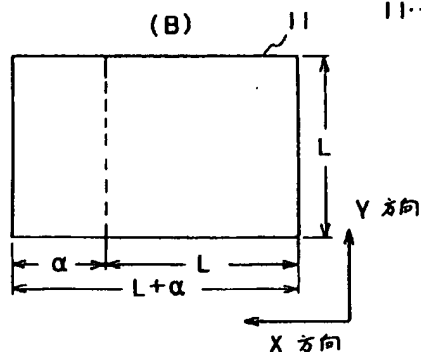


10…正方形の格子
11…長方形の格子
12…制御棒
13…燃料集合体サブバンドル

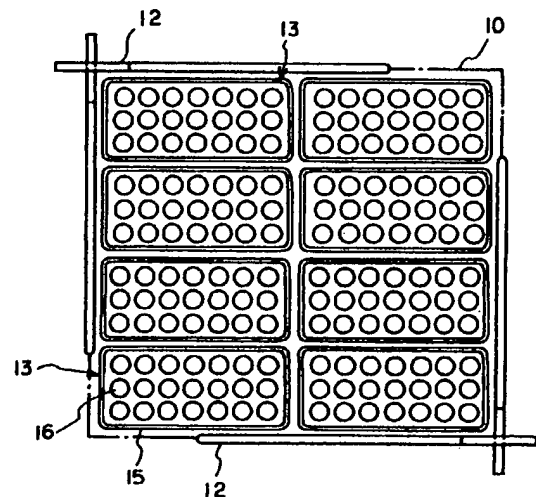
第 3 図



10…正方形の格子
11…長方形の格子

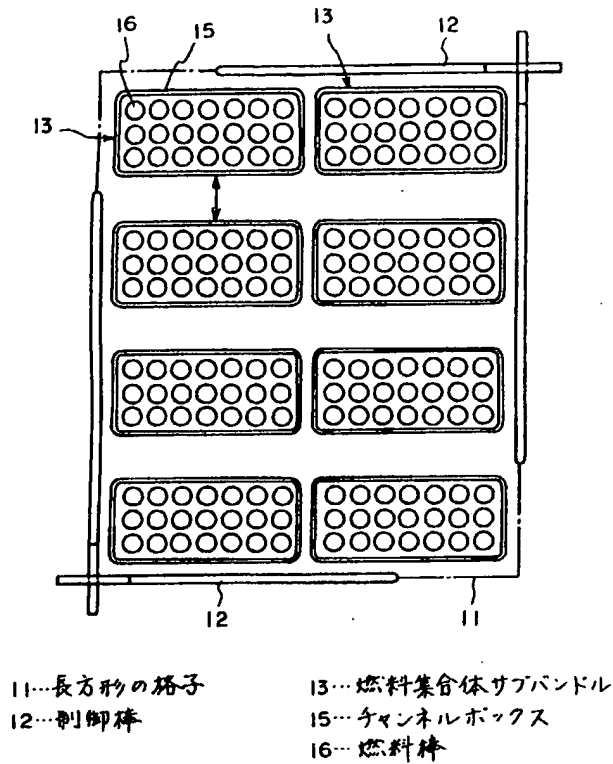


第 4 図

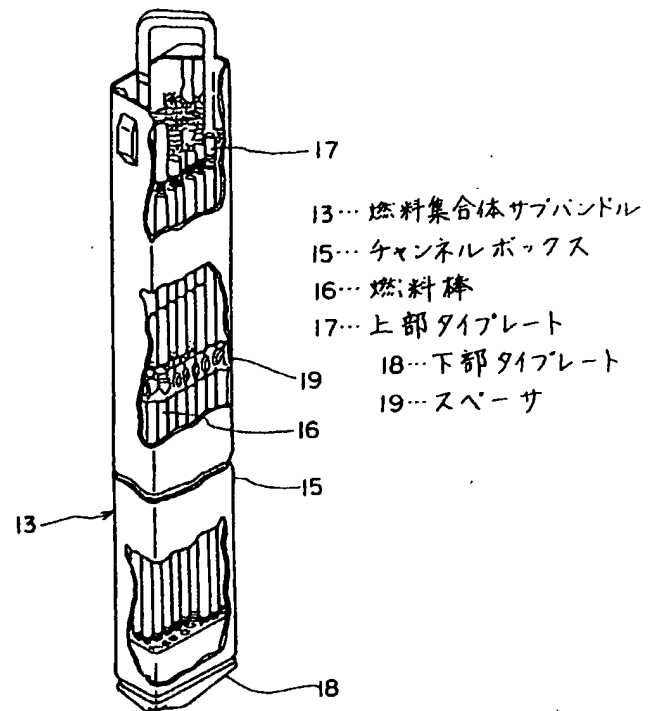


10…正方形の格子
11…長方形の格子
12…制御棒
13…燃料集合体サブバンドル
15…チャンネルボックス
16…燃料棒

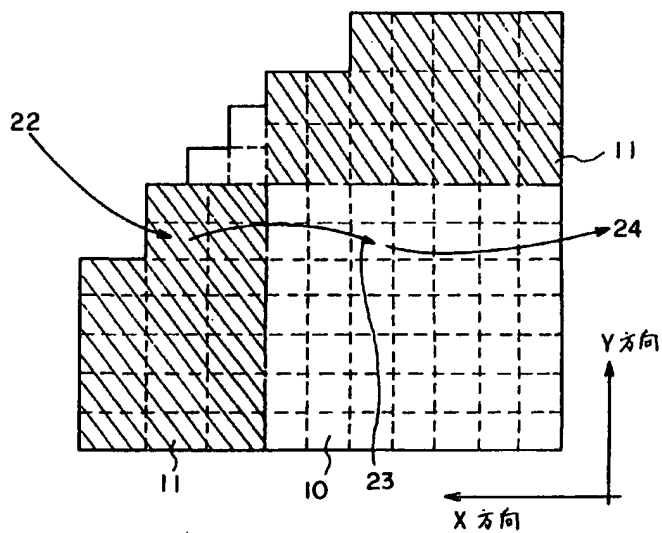
第 5 図



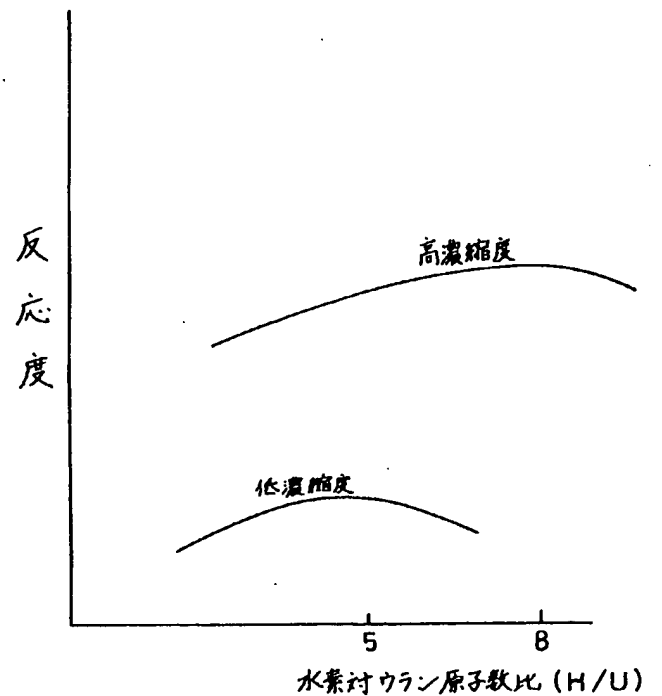
第 6 図



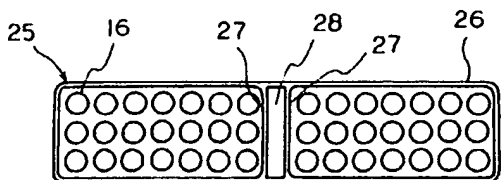
第 7 図



第 8 図



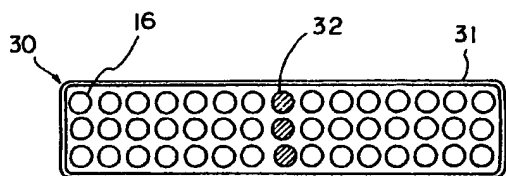
第 9 図



25…燃料集合体サブバンドル
26…チャンネルボックス

16…燃料棒
27…水路用隔壁
28…水路

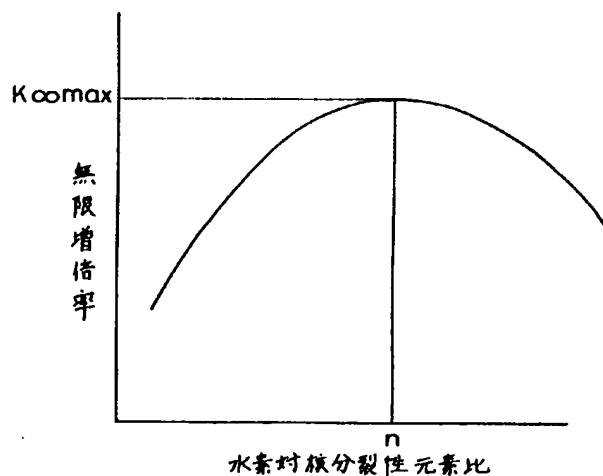
第 10 図



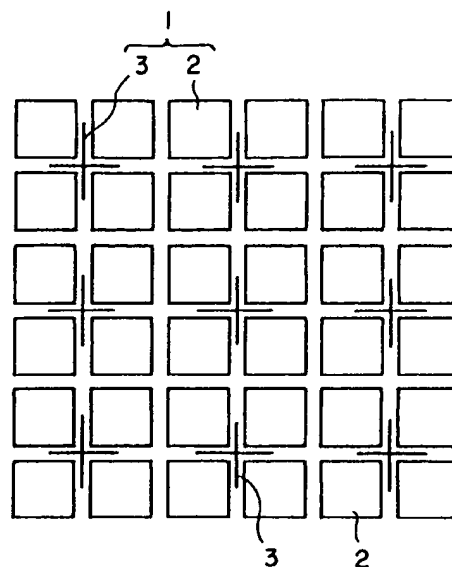
30…燃料集合体サブバンドル
31…チャンネルボックス

16…燃料棒
32…ウォーターロッド

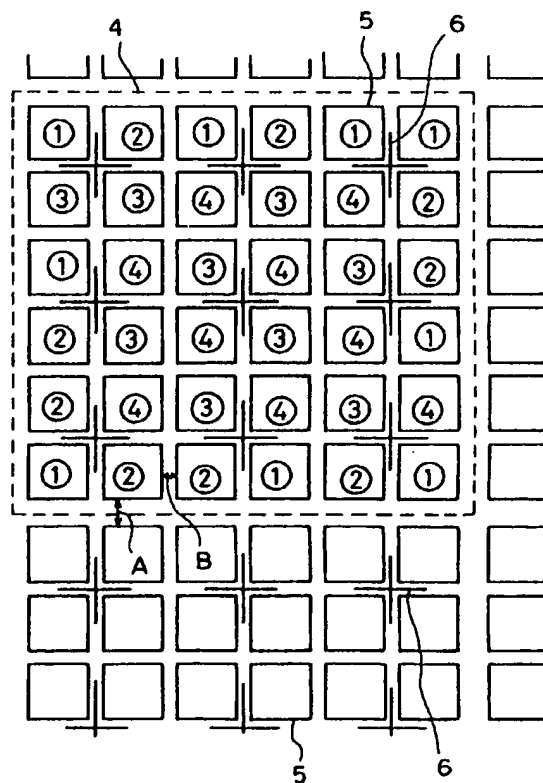
第 12 図



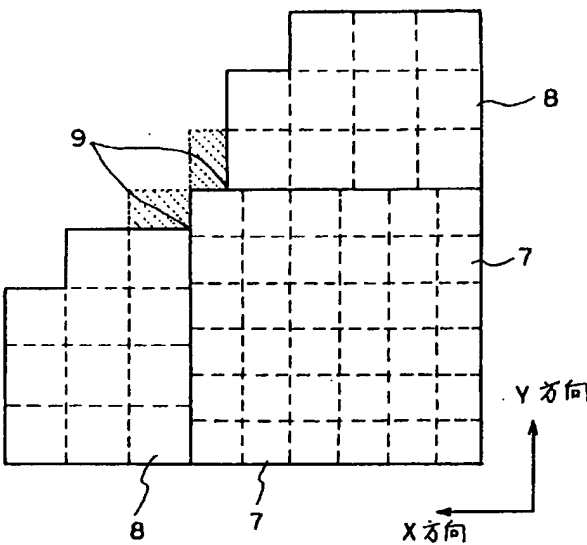
第 11 図



第 13 図



第 14 図



第 15 図

